

**УДК 620.19**

Е.А. ПЫТКИНА, студент гр. ТФ-06-21, (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)  
Научные руководители: Е.В. КРЫЛОВА, к.п.н., доцент, (ФГБОУ ВО  
«НИУ «МЭИ»), А.А. ОРЛОВ, к.т.н., доцент, (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

г. Москва,  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»»

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЭК НА ПРИМЕРЕ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ И  
ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ**

**Аннотация:** В докладе представлены результаты цифровизации инфраструктуры ТЭК на примере 2D - и 3D - моделирования лопатки газотурбинного двигателя, необходимые при технической диагностике (ТД) и неразрушающем контроле (НК) элементов энергетического оборудования, в частности турбинного оборудования, для предотвращения его повреждений при эксплуатации, по фотографиям литейной формы и поперечных сечений самой лопатки.

**Abstract:** The report presents the results of digitalization of the fuel and energy complex infrastructure on the example of 2D and 3D modeling of a gas turbine engine blade, necessary for technical diagnostics (TD) and non-destructive testing (NDT) of power equipment elements, in particular turbine equipment, to prevent its damage during operation, based on photographs of the mold and cross sections of the blade itself.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс, инфраструктура, цифровизация, 2D - моделирование, 3D - моделирование, автоматическое параметрическое моделирование, элементы энергетического оборудования, повреждения, дефекты, лопатка, газотурбинный двигатель, поперечное сечение, литейная форма, газотурбинное оборудование, техническая диагностика, неразрушающий контроль.

**Keywords:** fuel and energy complex, infrastructure, digitalization, 2D modeling, 3D modeling, automatic parametric modeling, elements of power equipment, damages, defects, blade, gas turbine engine, cross section, injection mold, gas turbine equipment, technical diagnostics, non-destructive testing.

**Введение:**

Топливоно-энергетический комплекс (ТЭК) - объединяет отрасли, связанные с добычей и переработкой энергоресурсов в различные виды топлива, преобразованием топливоно-энергетических ресурсов в основные виды энергии, а также транспортировкой и распределением энергоресурсов. В состав ТЭК входят топливная промышленность и электроэнергетика.

Основаниями разработки стратегического направления в области цифровой трансформации ТЭК (далее - цифровая трансформация, стратегическое направление) являются [1].

Предотвращение повреждений агрегатов энергетического оборудования электроэнергетики при его эксплуатации, в частности турбинного оборудования, невозможно без применения технической диагностики (ТД) и методов неразрушающего контроля (НК) [2-4], включающих исследования использующие автоматическое параметрическое моделирование его элементов - металлических изделий сложной формы и внутренней структуры, в частности лопатки газотурбинного двигателя (Рис. 1), как в процессе эксплуатации, так и на стадии изготовления.



а)



б)

Рис. 1. Внешний вид (из открытых источников):

а) ОДК «Ростех» изготовила первую серийную газовую турбину ГТД-110М для ТЭС «Ударная»; б) лопатка ГТД

Энергетические установки, построенные на базе авиационных ГТД, находят применение в различных областях народного хозяйства, в том числе в ТЭК, в качестве: энергоприводов; источников сжатого воздуха с большим расходом; эксгаустеров; струйных и струйно-тепловых машин, используемых для перемещения грунта, очистки поверхности от пыли, грязи, льда и снега, диспергирования воды, вентиляции и т. п.; тепловых машин, применяемых для обогрева и сушки различных объектов, ВПП аэродромов; парогазогенераторов в пожаротушении и т. д. [5].

Результаты автоматического параметрического моделирования - 2D и 3D модели лопатки могут быть использованы для исследования текущей температуры воздуха в лопатке в процессе продувки в специализированных CFD-программах точного проектирования и цифрового черчения планов, развёрток, схем и виртуальных трёхмерных моделей (САПР), а также для анализа влияния входных параметров на температуру охлаждающего воздуха лопатки.

**Цель работы:**

Цифровизация агрегата, входящего в комплекс ТЭЖ, путем автоматического параметрического проектирования - разработки 2D и 3D моделей лопатки ГТД, по фотографиям литейной формы и поперечных сечений самой лопатки.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить фотографии литейной формы и поперечных сечений самой лопатки;
2. По изученным фотографиям поперечных сечений самой лопатки и её литейной формы разработать 2D модель лопатки газотурбинного агрегата;
3. По изученным фотографиям поперечных сечений самой лопатки и её литейной формы разработать 3D модель лопатки газотурбинного агрегата.

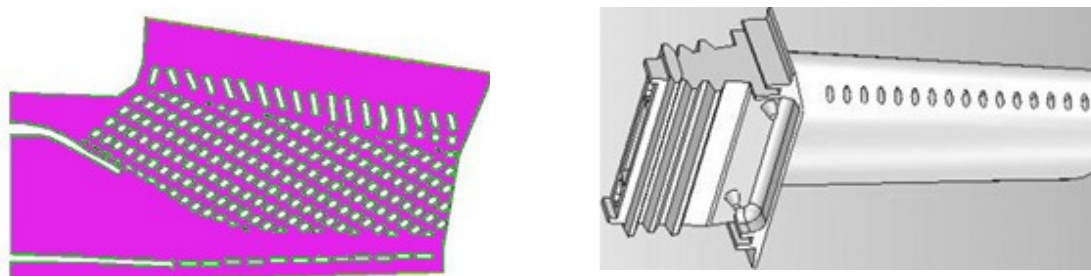
По имеющимся в открытом доступе материалам отчетов [6], были изучены фотографии литейной формы и поперечных сечений самой лопатки ГТД (Рис. 2):



Рис. 2. Фотографии:  
а) поперечных сечений лопатки ГТД; б) литейной формы.

На фотографиях (Рис. 2) видно, что форма лопатки имеет сложную, изменяющуюся как по длине, так и по ширине внешнюю форму и внутреннюю структуру, а внутренние каналы имеют переменное сечение. При автоматическом параметрическом проектировании - 2D и 3D моделировании были применены современное программное обеспечение CorelDraw2017 и FreeCad0.18. В результате моделирования получены: 2D

модель, в виде среднего сечения лопатки (Рис. 3а) и 3D модель лопатки с некоторыми упрощениями (Рис. 3б).



а) б)  
Рис. 3. Результаты моделирования лопатки ГТД:  
а) 2D модель; б) 3D модель

### **Выводы:**

Цель работы достигнута, все поставленные задачи успешно решены, в том числе:

1. Изучены фотографии литейной формы и поперечных сечений самой лопатки;
2. По изученным фотографиям поперечных сечений самой лопатки и её литейной формы, в программной среде CorelDraw2017, разработана 2D модель лопатки газотурбинного агрегата;
3. По изученным фотографиям поперечных сечений самой лопатки и её литейной формы, в программной среде FreeCad0.18, разработана 3D модель лопатки газотурбинного агрегата.

### **Список литературы:**

1. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. N 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»
2. Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В. Диагностика безопасности. Тепловой контроль. Под общей редакцией академика РАН Ключева В.В. - М.: Издательский дом Спектр, 2011, 171с.
3. L. Capineri, P. Falorni, S. Ivashov and etc. Combined Holographic Subsurface Radar and Infrared Thermography for Diagnosis of the Conditions of Historical Structures and Artworks. – Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-5343-2, 2009 EGU General Assembly, 2009.
4. S. Yella, M.S. Dougherty and N.K. Gupta, Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing, Insight, Vol. 48, No 1, jan. 2006, pp. 10-19.

5. Сенюшкин Н.С., Лоскутников А.А., Белобровина М.В., Салимова И.И., Жеребило В.Ю. Применение авиационных ГТУ в энергетике. Молодой ученый. - 2013. - № 9 (56). - С. 72-74.

6. Бекаревич А.А., Валиахметов С.А., Будадин О.Н., Чумаков А.Г., Морозова Т.Ю. Тепловой автоматизированный контроль качества и диагностики технического состояния лопаток турбин газотурбинных агрегатов с оценкой надежности эксплуатации. / - Москва: Спектр, 2014. - 317 с.

Информация об авторах:

Пыткина Евгения Алексеевна, студент гр. ТФ-06-21, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная д. 14, [pytkinaj@yandex.ru](mailto:pytkinaj@yandex.ru),

Крылова Елена Владимировна, к.п.н., доцент, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная д. 14, [el-krylova@yandex.ru](mailto:el-krylova@yandex.ru),

Орлов Антон Андреевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная д. 14, [OrlowAA@mpei.ru](mailto:OrlowAA@mpei.ru).